les antennes yagi à deux et trois éléments

A. DUCROS F5AD

Cet article a pour but de rappeler les dimensions et les performances de ce type d'antennes ; les chiffres donnés correspondent à des aériens parfaitement réglés et réalisés dans des matériaux à faible résistivité (aluminium, cuivre ou duralumin). Un constructeur qui donnerait des résultats supérieurs pour ses fabrications devrait provoquer votre méfiance. Des antennes à trappes sont obligatoirement inférieures.

L'ANTENNE YAGI DEUX ELEMENTS

Elle est constituée d'un élément rayonnant principal relié directement à l'émetteur et appelé **radiateur.** Ce radiateur, lorsqu'il est seul, n'est autre qu'un simple doublet bien connu.

L'adjonction d'un deuxième élément, **l'élément parasite,** placé parallèlement au radiateur et à une certaine distance de ce dernier, va augmenter l'intensité du signal rayonné par le radiateur dans une direction et, comme tout doit se compenser, il va diminuer le rayonnement dans la direction opposée.

On peut considérer que l'élément parasite capte une partie du rayonnement du radiateur mais, comme il n'est relié à rien, il ne peut que rerayonner l'énergie reçue. Suivant la direction considérée, son rayonnement s'ajoute ou se retranche à celui du radiateur ; il y a gain d'un côté et réjection de l'autre.

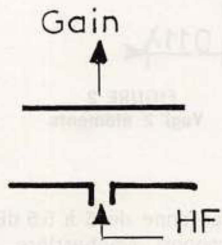


FIGURE 1a
Antenne 2 él. avec directeur

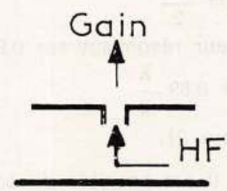


FIGURE 1b
Antenne 2 él. avec réflecteur

Nature de l'élément parasite

Afin de créer des déphasages propices au phénomène décrit ci-dessus, l'élément parasite n'est pas accordé sur la même fréquence que le doublet rayonnant.

S'il est taillé plus court on constate que l'ensemble présente un gain de son côté, il est alors appelé **directeur.**

S'il est taillé plus long, il y a réjection de son côté, et donc gain dans la direction opposée, il est appelé alors **réflecteur** (figure 1a et b).

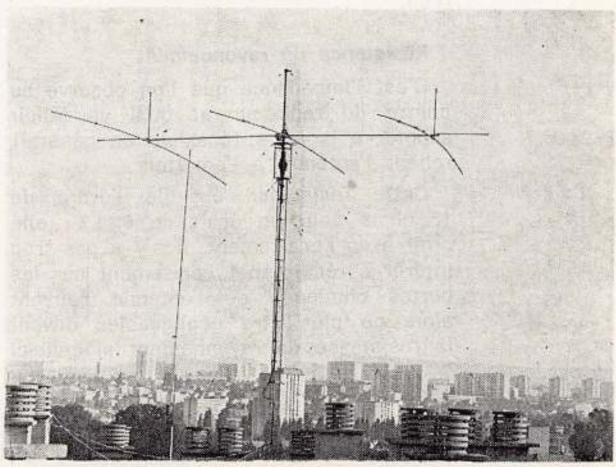
Gain d'une antenne 2 éléments par rapport à un dipôle

L'élément rayonnant doit être taillé pour résonner sur la fréquence d'émission, ses dimensions sont donc fixées ($0{,}95\frac{\lambda}{2}$).

Le gain et les autres performances de l'antenne dépendent : de la longueur de l'élément parasite et de sa distance au radiateur.

On constate en faisant varier ces paramètres qu'une antenne Yagi 2 éléments à directeur est supérieure en gain à une antenne à réflecteur ; comme pour obtenir un gain maximum en réflecteur il faut un espacement plus élevé entre éléments

Le dégagement de l'antenne est primordial...



qu'avec un directeur, donc une antenne plus encombrante, la cause est entendue, et nous ne parlerons plus que de deux éléments à directeur (figure 1a).

Le gain maximum (5,5 dB) s'obtient pour un espacement entre éléments de 0,11 λ (λ étant la longueur d'onde : $\lambda = \frac{300}{F}$ avec λ en mètres et F en MHz) et pour un directeur 5 % plus court que le radiateur.

Le gain reste quasi-constant, et supérieur à 5 dB pour un écartement variant de 0,09 à 0,14 λ.

Rapport avant-arrière

Il dépend lui aussi des deux mêmes paramètres ; il augmente quand diminue l'écartement et quand est raccourci le directeur. Nous verrons que pour des raisons de pertes et de difficulté d'alimentation il n'est pas conseillé de descendre en-dessous de 0,1 λ pour l'écartement entre éléments.

Quant à la longueur du directeur, — 8 % ramène déjà le gain autour de 5 dB.

Il ne faut jamais trop compter pour une yagi deux éléments sur un rapport avant-arrière supérieur à 15 dB sauf après réglage minitieux de tous les paramètres dans cette optique. Il faut aussi se rappeler, qu'à moins d'avoir une antenne totalement isolée dans l'espace, les mesures de rapport avant-arrière sont toujours entachées d'erreur, dans un sens ou dans l'autre par les réflexions sur des obstacles proches (bâtiments, fils électriques, etc.). 6 dB est une valeur courante.

Le rapport avant-arrière dépend aussi fortement de l'angle d'incidence du signal reçu.

Résistance de rayonnement

C'est l'impédance que l'on observe au centre du radiateur et qu'il va falloir adapter à la ligne (coaxiale en général) reliant l'antenne à l'émetteur.

Cette résistance est de l'ordre de 15 ohms pour un écart de 0,11 λ ; elle croît avec l'écartement. Il n'y a pas trop intérêt à réduire cet écartement car les pertes ohmiques de l'antenne peuvent alors ne plus être négligeables devant la résistance de rayonnement si celle-ci devient trop faible et le rendement de l'antenne s'écroule.

Pour 0,14 λ la résistance est de l'ordre de 20 ohms.

Sélectivité et directivité de l'antenne

L'antenne est constituée d'un élément accordé sur la fréquence de travail et d'un parasite accordé plus haut en fréquence ; l'antenne cesse de fonctionner de façon directive si on la fait travailler trop près de la fréquence de résonance de l'élément parasite (— 5 à — 8 %). De toute façon son ROS devient prohibitif bien avant d'en arriver là.

On peut donc considérer que ses caractéristiques de directivité restent constantes dans toute la plage de fréquence où elle est utilisable.

Le lobe avant d'une Yagi 2 éléments est large à — 3 dB d'environ 2 x 35°.

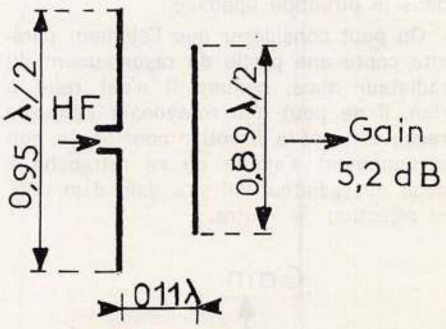


FIGURE 2
Yagi 2 éléments

Résumé

Pour une antenne de 5 à 5,5 dB de gain et 6 dB de rapport avant-arrière, on prend une longueur de boom de 0,11 λ :

un radiateur résonnant sur λ donc de longueur $0{,}95 \frac{\lambda}{2}$

un directeur résonnant sur 0,94 λ donc de longueur $0{,}89 \frac{\lambda}{2}$

(voir figure 2).

Note : si il est possible de coupler un grid-dip au centre du directeur par exemple, on doit trouver deux « dips », l'un très net sur la fréquence d'accord du di-

recteur et l'autre moins prononcé sur celle du radiateur ; c'est un bon moyen pour s'assurer que les masses environnantes n'ont pas désaccordé les éléments. Si tel est le cas, il faut retoucher leurs longueurs en conséquence.

L'ANTENNE YAGI TROIS ELEMENTS

On exploite, on s'en doute, les possibilités de directeur et de réflecteur de

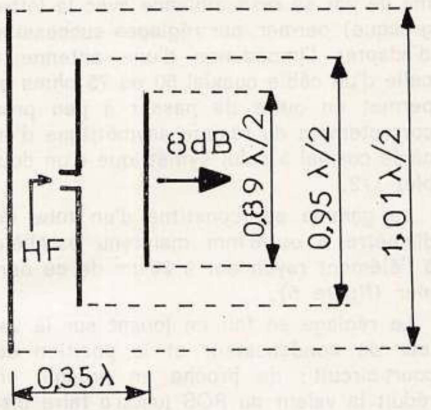


FIGURE 3
Yagi 3 éléments

deux éléments parasites pour conjuguer leurs effets (figure 3) ; les deux éléments parasites sont donc placés de part et d'autre du radiateur.

Gain de l'antenne par rapport à un dipôle

Les trois éléments sont régulièrement espacés sur le boom, la disymétrisation de l'ensemble ne modifie pas semble-t-il le gain ; on peut donc :

pour des impératifs mécaniques (passage du mât vertical et équilibrage de l'ensemble, le réflecteur étant plus lourd que le directeur), déplacer légèrement le radiateur vers le directeur.

Moyennant ces remarques, nous parlerons de longueur de boom.

Le gain maximum (8 dB) est atteint pour une longueur de boom de 0,35 λ mais ce maximum est extrêmement plat si bien qu'on peut escompter un gain supérieur à 7 dB de 0,27 à 0,45 λ.

Résistance de rayonnement

Elle est de l'ordre de 20 à 25 ohms, pour les espacements ci-dessus, et dépend principalement de la longueur du directeur. 20 ohms correspondent à un directeur long de 0,89 λ ; la résistance de rayonnement croît quand la longueur du directeur diminue.

Rapport avant-arrière

Comme pour la Yagi 2 éléments, ce rapport est difficile à mesurer ; cependant 25 dB est un résultat normalement accessible, une valeur supérieure correspond le plus souvent à un cas particulier de réflexion sur un obstacle voisin.

Sélectivité et directivité de l'antenne

Tout comme pour la 2 éléments, la directivité va se détériorer à l'approche des fréquences de résonance des éléments parasites ; on prend en général un directeur 6 % plus court que le radiateur et un réflecteur 8 % plus long que ce même radiateur, mais là encore la sélectivité ou les limites de bandes, interdiront un fonctionnement sur des fréquences aussi éloignées de celle du radiateur.

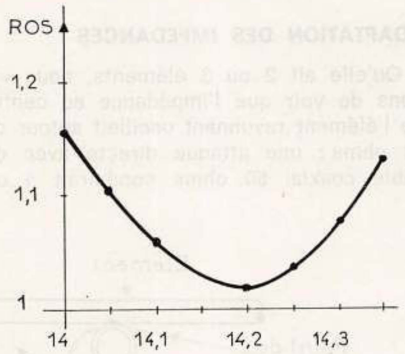


FIGURE 4
Courbe de ROS d'une Yagi 3 él. monobande avec adaptation par « omega match » (photo 1)

Nous trouvons figure 4 la courbe de ROS de la Yagi monobande 14 MHz visible sur la photographie n° 1. Le système d'adaptation d'impédances, un « oméga match » est décrit ci-dessous.

Le lobe avant d'une Yagi 3 éléments est ouvert à — 3 dB de 2 x 25° environ.

Résumé

Pour une antenne de 7,6 dB de gain et 25 dB de rapport avant-arrière, on prend une longueur de boom de 0,35 λ.

un radiateur résonnant sur λ donc de longueur $0{,}95 \frac{\lambda}{2}$

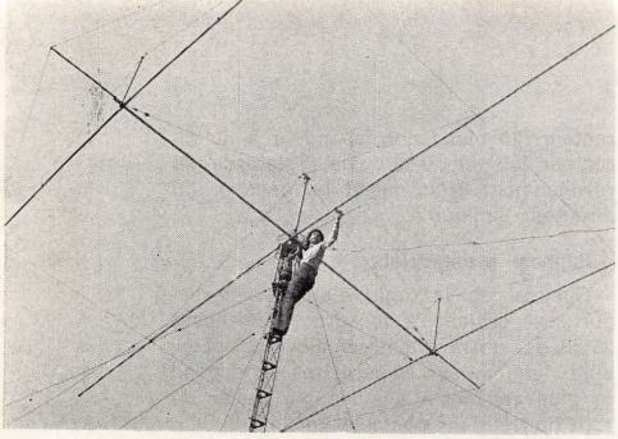


Photo n° 1

un directeur résonnant sur 0,94 λ donc de longueur 0,89 $\frac{\lambda}{2}$

et un réflecteur résonnant sur 1,06 λ donc de longueur 1,01 $\frac{\lambda}{2}$

Voir figure 3.

ADAPTATION DES IMPEDANCES

Qu'elle ait 2 ou 3 éléments, nous venons de voir que l'impédance au centre de l'élément rayonnant oscillait autour de 20 ohms ; une attaque directe avec du câble coaxial 50 ohms conduirait à un ROS supérieur à 2 donc inacceptable, et à une disymétrie des courants qui distordrait les lobes de rayonnement.

Nous allons trouver ci-dessous une description d'adaptation en oméga pour une Yagi en tube duralumin, et dans un article suivant un système avec radiateur replié dans le cas d'une Yagi « filaire ».

« Gamma match »

Un adaptateur en gamma (ainsi nommé de par sa ressemblance avec la lettre grecque) permet, par réglages successifs, d'adapter l'impédance d'une antenne à celle d'un câble coaxial 50 ou 75 ohms et permet en outre de passer à peu près correctement du régime asymétrique d'un câble coaxial à celui symétrique d'un doublet λ/2.

Le gamma est constitué d'un tube de diamètre 6 ou 8 mm maintenu parallèle à l'élément rayonnant à 20 cm de ce dernier (figure 5).

Le réglage se fait en jouant sur la valeur du condensateur et la position du court-circuit ; de proche en proche, on réduit la valeur du ROS jusqu'à faire disparaître quasiment tout courant réfléchi.

Seul problème, lorsque le court-circuit doit se trouver à plus d'un mètre du boom, son réglage devient périlleux pour

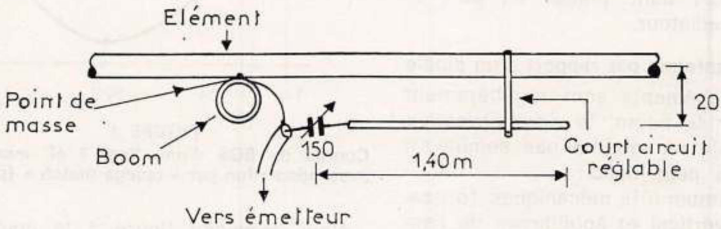
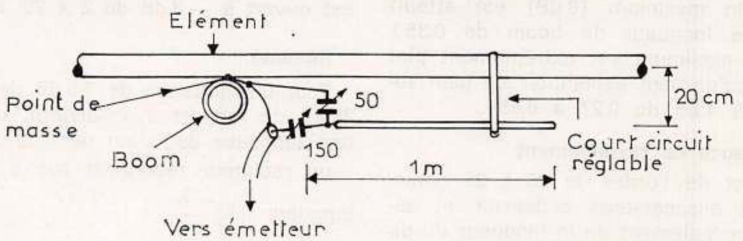


FIGURE 5
Adaptation en « gamma » pour antenne 20 m

FIGURE 6
Adaptation en « omega » pour antenne 20 m



l'opérateur ; d'où l'intérêt de l'« oméga match » qui va suivre.

Sur 15 mètres
Cmax. = 100 pF.
Longueur du gamma 90 cm maximum.
Ecart 15 cm.

Sur 10 mètres
75 pF - 70 cm et 10 cm d'écart.

« Omega match ». Fig. 6

L'adjonction d'un deuxième condensateur variable (50 pF environ) permet de réduire la longueur maximum du gamma aux environs de 1 m ; on place le court-circuit à 80 cm et le réglage se fait en jouant sur les deux capacités jusqu'à ce que soit annulé le courant réfléchi lu sur un ROS-mètre.

Tous les réglages se faisant au niveau du boom, et par action sur des condensateurs variables, la mise au point d'une trois éléments peut être qualifiée de confortable.

Si comme sur l'antenne reproduite en photographie vous avez installé au sommet du pylône une télécommande de l'émetteur branché sur un « two tone test pulsé » et si vous avez amené une ligne et un galvanomètre lisant le courant réfléchi sur le ROS-mètre, une mise au point de l'antenne doit prendre entre 10 et 15 minutes !

Il est laissé à l'imagination de chacun de trouver un système de protection des condensateurs variables. Pour ma part, je fais une grosse consommation de boîtes en matière plastique disponibles aux rayons cuisine ou quincaillerie des grands (ou petits) magasins (voir photo 2).

Sur 15 m, gamma de 70 cm, court-circuit à 50 cm, nouveau condensateur : 33 pF. Sur 10 m, 50 cm, court-circuit à 40 cm, capacité max. : 25 pF.

Résultats :

Ne disposant pas d'un dipôle de référence, il est impossible de connaître le gain obtenu mais les résultats étant normaux en ce qui concerne les rapports avant-arrière, on peut penser que le gain est de l'ordre de 5 dB en « directeur » et 4 dB en « réflecteur ».

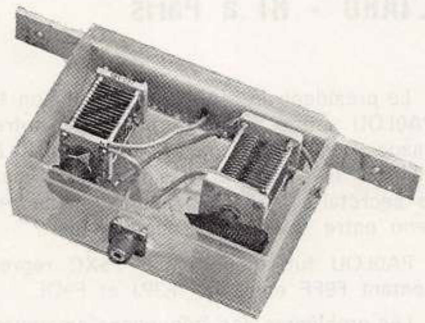


Photo n° 2

Pour les rapports avant-arrière, l'antenne en réflecteur est nettement supérieure (de l'ordre de 15 dB), cela est normal car pour ce mode les éléments sont plus rapprochés que la normale (0,15 à 0,25 λ), ce qui diminue le gain mais augmente le rapport avant-arrière. En mode directeur l'écartement ne permet pas d'escompter plus de 6 dB avant-arrière, ce qui semble être le cas. Ce rapport pourrait être amélioré en rapprochant encore les éléments (0,05 λ) mais le fonctionnement en réflecteur deviendrait problématique. Il faut donc s'accommoder d'un compromis.

Il est évident que disposant de 24 mètres pour l'espacement entre éléments extrêmes, l'idéal serait de monter une trois éléments, avec commutation simultanée par le même principe sur les deux éléments parasites ; les performances nettement supérieures des Yagi trois éléments en rapport avant-arrière, donneraient à coup sûr des résultats spectaculaires.

Les photos sont de F9FF.

La Nomenclature 1976 est parue

Franco 16,00 F.

RADIO REF

REVUE DES ONDES COURTES

SPECIAL ANTENNES

7 JUILLET
1 9 7 6
8 FRANCS